

全光ファイバ型ドップラライダの低コスト製品化開発

Development of low cost all fiber Coherent Doppler LIDAR (CDL) system

安藤 俊行¹、古田 匡¹、田中 久理¹、亀山 俊平²、平野 嘉仁²

¹三菱電機(株) 通信機製作所、²三菱電機(株) 情報技術総合研究所

Toshiyuki ANDO¹, Masashi FURUTA¹, Hisamichi TANAKA¹, Shumpei KAMEYAMA² and Yoshihito HIRANO²

¹Mitsubishi Electric Corporation, Communication Systems Center, ²Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center

e-mail: tos.ando@cew.melco.co.jp

Abstract: Low cost all fiber Coherent Doppler LIDAR (CDL) system has been developed for measuring wind profile at short range up to 500m. For reducing cost, an $1.5\ \mu\text{m}$ Laser Diode as a master laser in the fiber based optical T/R unit, a PC based signal processor combined with a newly developed pre-processing board, and a compact conical scanner with an asynchronously rotating wedge prism. This paper presented some key technologies for reducing cost as well as the design concepts in the CDL system we have developed.

1. はじめに

コヒーレントドップラライダ (CDL) は遠隔の風向風速を計測できる有用な測器として、気象学、空港内での後方乱気流検出そして風力発電用の風況調査など多方面から期待されている。我々は世に先駆けてアイセーフ波長の $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を測定光波長に用いた CDL を開発しており[1]、また機器の光回路を光ファイバ部品により構成した全光ファイバ型 CDL を製品化している[2]。全光ファイバ型 CDL は出力パワーがファイバの非線形光学効果により制限されるものの、光ファイバ回路のもつ高い信頼性、配置自由度のほか光通信部品を流用できるメリットから、特に近距離 (~2km) 測定用 CDL に適している。すでに標準測器との比較測定により十分な測定精度を確保できることを実証しているが[3]、製品コストが未だ他の測器に比較して高価であり、これが普及を進める上での課題であった。これを踏まえ機器の機能ブロックと要素部品に全面見直しをかけ低コストで且つ従来機と同機能を持つ CDL 装置の製品化を行った。ここでは、開発コンセプトと低価格化のキー技術について報告する。

2. システム構成

Fig. 1 に開発した CDL 装置の外観イメージを示す。本 CDL 装置は光ファイバ型回路で構成した光送受信部と専用信号取得ポートと汎用 PC で構成した信号処理部、およびファイバコリメータと小型スキャナとで構成した光アンテナ部とからなる。信号処理部と光送受信部とを合わせた部分の大きさは $485 \times 450 \times 270\text{mm}$ 、重量は 30kg 以下であり 19 インチ 10U のサーバラックに収納可能である。一方光アンテナ部はサイズ $150 \times 150 \times 250\text{mm}$ 、重量 5kg 以下であり、5m の光ファイバケーブルで光送受信部と接続して屋外に設置可能である。機器の消費電力は 700VA 以下である。

従来機同様に、計測データは RS232 ポートから出力できるほか、従来機とは異なり計測データの表示、解析のための PC が不要であり、簡易解析用の計測データは CSV 形式で保存される。

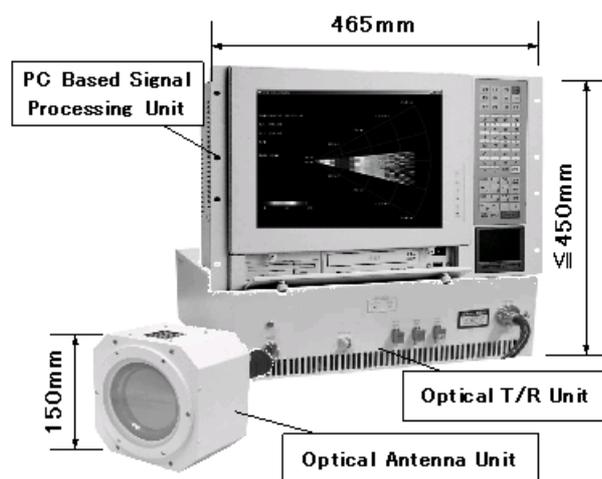


Fig.1 Outer View of a new CDL system

3. 光送受信部

Fig. 2 に光送受信部と光アンテナ部のブロック図を示す。光送受信部は MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 形式の送信光パルス発生部と光ヘテロダイン受信部とから構成される。また全光機能素子は偏波保持型光ファイバ部品を用い、従来機で用いていた偏波コントローラが不要な構成とした。低コスト化の方策として、まず測定距離を近距離に限定と測定パルス幅を 200ns (距離分解能 30m) とした。

短パルス動作に特化することにより基準光源の周波数広がり許容幅が緩和されだけでなく、光増幅部の出力平均パワーを低く抑えることができ、各要素の低コスト化が期待できる。これに基づき主に①基準光源、②光ファイバ増幅器、③光変調器に対して低コスト化検討を進めた。基準光源として光通信用の分布帰還形レーザダイオード (DFB-LD) を従来の狭線幅ファイバーレーザ (DFB-FL) のかわりに用いた。基準光源の出力光は一方を送信パルス光の seed 光として他方を光ヘテロダイン検出のための局部発振光として用いる。Seed 光は AO 光パルス変調器 (AOM) によりパルスの切り出しと同時に周波数偏移を与える。ここでのパルス変調波形として後段の光ファイバ増幅器での非線形光学効果の発生を防ぐため鋸波状に立ち上げる。また、パルス OFF 期間での信号光の漏れ出しを防ぐため従来 2 段構成で使用していた AOM を 1 段往復光路で用いて同等の性能を低コストに実現している。さらに光ファイバ増幅器は +23dBm の廉価な偏波保持型のエルビウム添加ファイバ増幅器を用いて、ピークパワー 10W、パルス幅 200ns、繰り返し 4kHz の非線形効果フリーのパルス発生を実現している。送信光は光ファイバ型のサーキュレータを介してファイバ接続された光アンテナから空間に放出される。空間内のエアロゾルからの後方散乱光を同じ光アンテナで収集し、局部発振光とミキシングして光ヘテロダイン検出する。中間周波数変換後の帯域は $54 \pm 50\text{MHz}$ であり、検出風速範囲 $\pm 38.5\text{m/s}$ に対応する。上記の構成見直しにより従来機コストの 50%以下で実現できる見通しを得た (内訳: ①基準光源部 (従来比 1/20)、②光ファイバ増幅器 (同 1/3.5)、③光変調器 (同 1/2))。また、従来機ではパルス動作のクロックを信号処理部から与えていたのに対し、本 CDL 装置では光送受信部の AOM 駆動ドライバにクロック発生部を内蔵してトリガ信号を出力する構成とした。これにより光送受信部の完全スタンドアロン動作が可能となり、組み立て評価を信号処理部と独立並行に実施できるため製造コストを低減できる。さらに AOM 駆動ドライバには複数パルスパターン格納機能をもたせてあり、光ファイバ増幅器の励起条件とあわせて切り替えることにより、距離分解能を変更する機能をオプションとして準備している。

4. 光アンテナ部

Fig.2 の上段に光アンテナ部の構成を示す。光アンテナ部は防水型の筐体に収納された望遠鏡とコンカルスキャナにより構成される。望遠鏡は有効径 $\phi 60\text{mm}$ 、集光可能距離 100~1000m をもつファイバコリメータを新規に設計した。パッシブアサーマル設計により周囲温度が $20 \pm 30^\circ\text{C}$ でも所要性能 (透過波面収差 $\lambda/14$ 以下) を達成でき、温度変化の大きな屋外測定に適したものとしている。またレンズパワーの最適配分により製造公差に対するトレランスを十分に確保して、製造コストの低減をはかった。

一方、小型スキャナはシリコンウェッジプリズムの回転機構とプリズム回転角度モニタとにより構成され出力光を円錐状 (コンカル) 走査する。回転角度のモニタはプリズム角度をインクリメンタルエンコーダにより A 相、B 相パルスと 1 周ごとの Z 相パルスで検出する。パルスカウント機能は後段の信号処理ボードに持たせる。出射光の仰角方位角はウェッジ回転角度、ウェッジ偏向角から一意に算出できる。これにより従来機で Closed Loop で制御していたプリズム回転機構を単純な回転 On・OFF の非同期制御で実現できるため低コスト化と小型化を実現できる。さらにオプション機能としてダブルウェッジ回転による左右走査、上下走査モードも準備している。このダブルウェッジ回転機構は 1 枚目ウェッジの回転駆動力を反転ギアを介して 2 枚目に伝達する方式で構成するため 2 枚目ウェッジ用の回転モニタの追加は不要である。

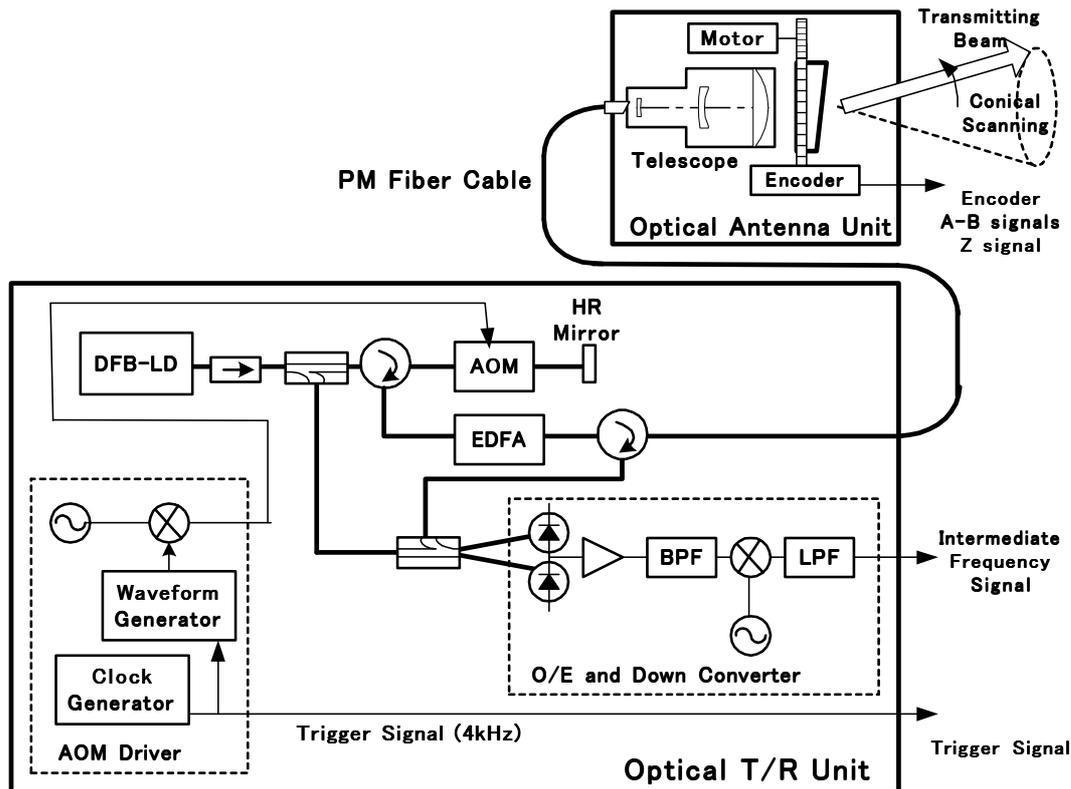


Fig. 2 Schematic block diagram of an optical T/R unit and an optical antenna unit

5. 信号処理部

Fig. 3 に本 CDL 装置のために開発した信号処理部のブロック図を示す。従来機で複数 CPU の専用装置を用いていたのに対し、本 CDL 装置では新規開発した専用の前置処理ボード (LIDAR ボード) を PCI バス経由で汎用 PC に組み込む構成で低コスト化(従来比 1/4)をはかっている。LIDAR ボードには高演算レートが必要な処理 (AD 信号取得、FFT (Fast Fourier Transform) 処理、信号積算処理) のみを割り当て、その他の低演算レート処理 (雑音フロア補正、ドップラ速度検出、風速ベクトル演算、処理結果の簡易表示など) は PC アプリケーションソフトに割り当てる。LIDAR ボードはサンプリングレート 216MS/s、電圧分解能 8bit で 20 レンジ分のデータを AD 取得し、各レンジごとに 256 点 FFT を 4kHz 以内に実行し所定数だけインコヒーレント積分できる性能を持つ。

また、従来機では信号処理部が他のサブシステム (光送受信部、光アンテナ部) の動作状態の監視と制御を行っていたが、本 CDL 装置では初期設定と動作開始停止制御のみに限定している。

特に光アンテナ部のビーム走査制御に関しては、LIDAR ボードにパルスカウンタを内蔵し、ウェッジプリズム回転角度パルスに同期してカウントアップする。ドップラ速度計測に用いるビーム出射方向をビーム走査速度によらずモニターできるため Closed Loop 制御が不要となる。

一方、PC アプリケーションソフトでは次の手順で処理を行う。まず LIDAR ボードのダブルバッファに格納された LIDAR データ (積分後のドップラスペクトルと取得時のプリズム回転角度) を PCI-BUS 経由で読み出す。次に読み出されたデータからドップラスペクトルを抽出し、各レンジごとに雑音フロアオフセット補正、ピーク周波数検出、重心演算によりドップラ周波数を算出して視線方向 (LOS) 風速を求める。一方、プリズム回転角度データにウェッジ偏向角度を組み合わせ、ビーム出射方向 (方位角、仰角) を算出する。最後に算出したレンジごとの LOS 風速とビーム出射方向を用いて VAD (Velocity Azimuth Display) 演算により 3次元風速ベクトルおよび風向風速を算出し、簡易表示する。

本 CDL 装置ではアプリケーション開発環境を Windows ベースの汎用 PC とすることで、計測データ

加工や表示機能の追加要求を低コストに実現できるだけでなく、ユーザ自身による開発を積極的に促すことが期待できる。これにより多方面の風測定ユーザに従来よりもきめ細かに対応できると考えられる。

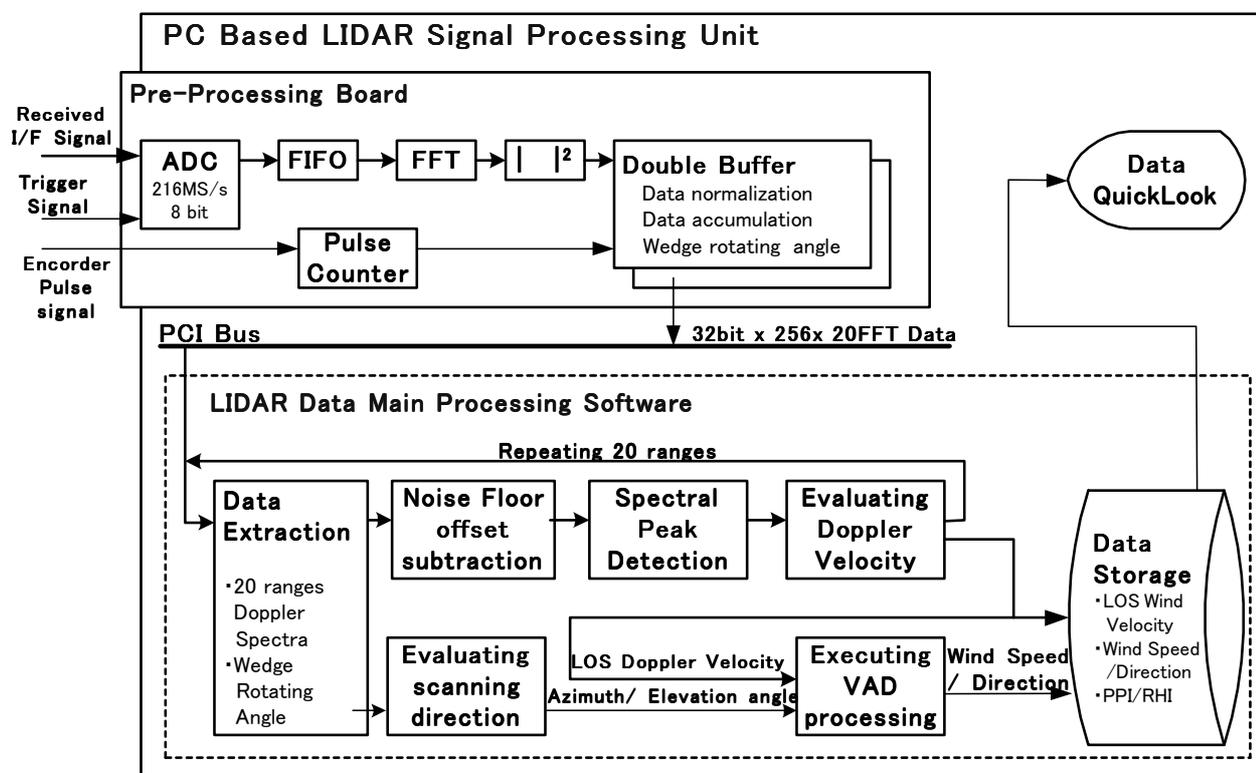


Fig. 3 Schematic block diagram of a PC based signal processing unit

本 CDL 装置のシステムパフォーマンスに関して、第 3 節で記述した装置パラメータで後方散乱係数 $2.5 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ str}^{-1}$ 、大気構造定数 $2.0 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ 、大気透過率 0.96 km^{-1} の大気条件で測定距離 500m に対して得られる広帯域 SNR は -7.8 dB と算出できる。この値は同じ装置パラメータで検出速度精度 1m/s を達成するために必要な広帯域 SNR 値 -14 dB [4] に比べて十分に大きく所望性能が実現できると考えられる

6. まとめ

$1.5 \mu \text{ m}$ DFB-LD を基準光源に用いた光送受信部、PC ベースの信号処理部および小型光アンテナ部から構成される光ファイバ型 CDL の低コスト化製品開発を行い、従来機と同等の測定機能を 50% 以下のコストで実現できた。本 CDL 装置は、小型 SODAR (SOUND Detection And Ranging) 装置と同価格帯でリリースできると考えられ、SODAR 装置には無い多くのメリット (小型軽量、無騒音測定可能、横向けビーム測定可能) があることから、従来 CDL が用いられていない近距離の風速プロファイル測定分野にも需要を促すことが期待される。

7. 参考文献

- [1] K. Asaka et al.: Proc. of 10th Coherent Laser Radar Conference (1999), p198-199
- [2] S. Kameyama et al.: Proc of 12th Coherent Laser Radar Conference (2003), p43-46
- [3] 安藤 他: 第 51 回春季応物予稿集 (2004) 28pZA1,p1230
- [4] S. Kameyama et al.: submitted to 13th Coherent Laser Radar Conference (2005)